

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-504107

(43) 公表日 平成8年(1996)5月7日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

A 6 1 B 5/055

G 0 1 R 33/3815

H 0 1 F 6/00

Z A A

7638-2J

A 6 1 B 5/05

3 3 1

7707-2J

G 0 1 N 24/06

5 1 0 D

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平5-518144

(86) (22) 出願日 平成5年(1993)4月16日

(85) 翻訳文提出日 平成6年(1994)10月13日

(86) 国際出願番号 P C T / G B 9 3 / 0 0 8 0 6

(87) 国際公開番号 W O 9 3 / 2 1 5 3 9

(87) 国際公開日 平成5年(1993)10月28日

(31) 優先権主張番号 9 2 0 8 4 3 7 . 5

(32) 優先日 1992年4月16日

(33) 優先権主張国 イギリス (GB)

(81) 指定国 DE, J P, US

(71) 出願人 グッド, ジェレミイ, エー

イギリス国 ロンドン W 8 ガーデンス

レクスハム 72

(72) 発明者 グッド, ジェレミイ, エー

イギリス国 ロンドン W 8 ガーデンス

レクスハム 72

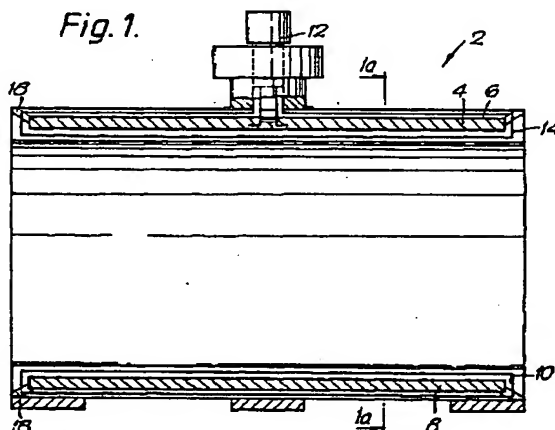
(74) 代理人 弁理士 田中 昭雄

(54) 【発明の名称】 超伝導マグネットとその関連の改良

(57) 【要約】

核磁気共鳴映像装置に使用する超伝導マグネットで、非金属製の閉ループ状の巻き枠、この巻き枠に巻き付けられ、低温特に、絶対温度10~12K の範囲で超伝導になる材料で造られたコイル、巻き枠を容れる真空容器でこれも閉ループ状の形が核磁気共鳴によって検査する対象物を磁界中に導入するための通路になっているもの、コイルに流す電流のための結線、真空容器内で巻き枠を取り巻く熱シールド、コイルと熱シールドに熱的に結合する冷却手段を含む。

Fig.1.



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

1. 核磁気共鳴映像装置に使用する超伝導マグネットで、次の構成要素を宮み、特長をもつもの：非金属製の閉じたループ状の巻き枠；巻き枠に巻き付けた超伝導物質のコイル；巻き枠とコイルを容れる真空容器、形は閉じたループ型で、NMRで診断する対象物をマグネット内に導入する室温穴を形成している；コイルの超伝導物質をつなぐ電氣的結線；巻き枠を取り巻いて真空容器の中に収められた熱シールド；コイルと熱シールドに、熱的に結合された冷却手段
2. 請求項1で請求した超伝導マグネットにおいて、冷却手段は、メカニカル低温冷却装置を含む。
3. 請求項1または2で請求した超伝導マグネットにおいてコイルは、10K から12K の温度領域で超伝導となる物質を材料として形成される。
4. 請求項1、2または3で請求した超伝導マグネットにおいて、コイルは金属間化合物超伝導体の材料を使って形成される。
5. 請求項4で請求した超伝導マグネットにおいて、金属間化合物超伝導体は、NbSnまたはセラミック酸化銅超伝導体である。
6. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットには、多数のパルスコイルが組み合わされているが、これらのパルスコイルは、コイルと誘導的に結合しないよう配置・形成される。
7. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットには、巻き枠に密着して、それを包み込む第二のシールドが含まれるが、これを巻き枠または、コイルと巻き枠の両方に取り付けられる。
8. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットにおいて、シールドは、多数の電気伝導度の高い金属の薄い細片から構成され、各細片はそれぞれ、冷却手段と熱的に結合している。
9. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットにおいて、真空容器の室温穴の内径部分は、インダクタンスの低い物質でつくる。
10. 請求項9で請求した超伝導マグネットにおいて、インダクタンスの低い物質は、繊維ガラスまたは、極めて薄いステンレス鋼である。

11. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットにおいて、巻き枠は真空容器の内部に、チタン、ケブラーまたは繊維ガラスのような、高強度・低電気伝導度の材料で造られた結合棒を使って固定される。

12. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットにおいて、電氣的結線は、コイルにつながれたリード線で、真空容器の壁に付けられた絶縁ターミナルを通るものを含む。

13. 請求項12で請求した超伝導マグネットにおいて、リード線は、真鍮のような高電気伝導度、低熱伝導度の物質を材料として造られる。

14. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットにおいて、マグネットを短絡する超伝導スイッチが含まれている。

15. 前項までの、すべての項で請求した超伝導マグネットを、核磁気共鳴映像の方法で使うことには、このマグネットによってつくられる磁界中での、人体による核磁気共鳴の解析も含まれる。

【発明の詳細な説明】

発明の名称：超伝導マグネットとその関連の改良

本発明は超伝導マグネット、特に人体内部または他の生体組織の医学的診断・調査に利用される核磁気共鳴映像装置を構成する超伝導マグネットに関するものである。

核磁気共鳴映像装置（以下、MRIシステムと略称する）は、核磁気共鳴（以下NMR）を利用して、生物体系を傷つけずにその映像を見ることに利用されている。X線や超音波を使う方法と同様、NMRは非侵入解析技術で生体の検診に利用される。しかし、X線の場合と違って、NMRは非電離性、非破壊性の手法であるから、連続使用が可能である。超音波診断法と比較した場合、映像の質に関してはNMRの方がはるかに優れている。

基礎的にいえば、NMRは磁気能率を持つ核が磁界のなかに置かれたとき起こる現象である。核に少なくとも2種類の外部磁界をかけると、核からラジオ周波数の電波の信号が放射され、この信号を検出するのがNMR技術である。

ただしこの外部磁界のひとつは十分強いことが必要である。この磁界は、核を分極させる働きをしている。NMRの最も一般的な利用法は、人体の約70%を構成する水の分布を検出、または映像化することであるが、このとき磁界は水の中の水素原子の核を分極させる働きをしている。人体内部の軟らかい組織の密度や化学状態の情報を引き出すこともできることは、この技術の大きな特徴といえる。

従来MRIシステムは永久磁石あるいは、通常の電線を巻いた電磁石を使って組み立てられている。この種類のマグネットで得られる磁界の強さは、磁束密度で500～1000ガウスの程度で、結果として磁気共鳴信号は弱く、質も悪く、生体から高速・高分解能の映像を取るには適さない。高速が要求されるのは、患者の体の働きで映像が不鮮明になるのを防ぐ目的もあるが、医学的にも例えば、血流の観測などの目的で必要とされる。また、映像を取るのに長時間を要すれば、診断出来る患者の数も限られることになる。

MRIシステムで、より速く、より詳細な情報を得る、つまり映像のコント

ラストと分解能を上げるためには、NMR信号の強さを増す必要がある。この目標は、より強い磁界を使用すれば容易に達成できる。必要な磁界の強さは、少なくとも3000ガウス、望ましいのは5000ガウスの程度である。更に、磁界は時間的に極めて安定で、しかも人体または人体の部分が存在する領域の全体にわたって均一でなければならない。

超伝導マグネットは、上に述べた条件をすべて満たしているので、高い費用にもかかわらず、大部分のMRIシステムでは超伝導マグネットが使われている。一般にMRIシステムの超伝導マグネットは、内径 1m、長さ2～3m、重さ数トン程度の円筒状コイルである。それには普通、少なくとも外側には鉄製のシールドが付けてあり、健康に有害の恐れがある、漏洩磁界を防いでいる。

内径600mmのマグネットならば、人間の胴体を取容するのに十分なのであるが、一般的には上に述べたような内径 1mのマグネットが使われている。このような大きなマグネットは、費用が高くつくという意味で不利である。なぜならば、コイルに蓄積されているエネルギーは、大ざっぱに見積もると内径の3乗に比例するのであるが、その値段も大体同じ比例関係に従うからである。では何故そのような大型のマグネットが通常のMRIシステムで必要とされるのか、理由を以下に議論する。

MRIシステムでは、超伝導マグネットの円筒の内側に、パルス磁界発生用のコイルが取り付けられている。このパルスコイルの働きは、核磁気共鳴の信号が発生し検出されている最中に、磁界の形を変化させることで、この方法で信号に映像を造るために必要な空間分解能を与えている。パルスコイルは、形を付けた短いパルス磁界を発生するのであるが、これはかなりのエネルギーを持っている。そのため金属がパルスコイルの近くにあると、強い誘導電流を起こしてパルス磁界の形と強さを変え、映像の質の低下の原因となる。この問題を解決するために超伝導マグネットは大型のものが使われている。

よく知られたMRIシステムの超伝導マグネットは、温度 4Kの液体ヘリウム貯蔵器の中に収められていて、更にその回りは液体窒素またはメカニカル冷却装置で冷却した輻射シールドで取り巻かれている。液体ヘリウムは高価で、取扱はあまり容易とはいえない。液体ヘリウムへの熱の流入は液体を沸騰蒸発

させてしまうので、これを最小にするための注意が必要である。液体ヘリウム貯蔵器の断熱を確実にするためには、絶対に容器の真空漏れを起こしてはならない。このため、通常は溶接した金属の容器が使われる。しかし、パルスコイルは、金属容器の内側に渦電流を起こして金属壁を加熱し、液体ヘリウムの損失の原因となる。これを防ぐために、ヘリウムで冷却したマグネットの内側に厚さ数mmの金属のパルスフィールドシールドを取り付け漏洩パルス磁界を渦電流に変えて吸収させる。メカニカル冷却装置または液体窒素を使って、パルスフィールドシールドを40K または77K の一定温度に冷却し、渦電流による発熱を吸収させる。しかし、パルスフィールドシールドを使うことは、デザイン上の問題を引き起こす。つまり、このシールドが、パルスコイルと誘導的に結合するとシステムの性能に影響するので、これを避けるために、大きいシールドが必要になる。このシールドは、マグネットの内側のパルスコイルと、NMRで診断される人体との間に収められるので、このシールドの必要性が、平均的人体よりはるかに大きいマグネットの使用を強制しているのである。

本発明の超伝導マグネットは特にMRIシステムに適している。これには、非金属製の閉じたループ型の巻き枠と、巻き枠に巻き付けた超伝導物質のコイル、巻き枠とコイルを容れる真空容器、コイルの超伝導材をつなぐ電気的結線、巻き枠を取り巻いて真空容器の中に収められた輻射シールド、輻射シールドとコイルに熱的に結合する冷却装置が含まれる。ここで、真空容器の形はやはり閉じたループ型で、検査する対象物を磁界中に導入する通路を形成している。

冷却装置としては、メカニカル低温冷却装置が望ましい。コイルの材料としては、10~12K の温度域で超伝導となる金属間化合物超伝導体が望ましい。この温度域は、メカニカル低温冷却装置の使用で制御可能だからである。したがって、超伝導マグネットはこの場合、液体ヘリウムを必要としない。これが本発明の主要な利点である：(1) 製作費用と運転費用の軽減；(2) 漏洩磁界の減少、つまり外側の鉄製シールドが不要になり、その場合は装置の据付けが容易になる；(3) 装置の設計と運転が、より簡単容易になる。

パルスコイルはマグネットのコイルと、できるだけ、誘導的に結合しないよ

う、つまりコイルの中の磁束や電流の変化を引き起こさないように設計、配置する。

真空容器は、普通の超伝導マグネットに使われる液体ヘリウム貯蔵器の様な設計上の制限がない。特に本発明の真空容器は、容器の内壁面で渦電流が発生しないような材料を使って造ることができる。真空容器の内径部分を形成する材料は、繊維ガラスまたは極めて薄いステンレス鋼、その他の部分はアルミニウムまたはステンレス鋼が適当である。内部にパルスフィールドシールドを付ける必要がなくなり、したがってコイル巻き枠の内径の断面積は人体または人体の一部よりも少し大きいだけで良く、その結果マグネットの全体としての寸法は従来品より大幅に減少する。

輻射シールドは真空容器のなかで、巻き枠を取り巻いて取り付けるのが望ましい。このシールドは多数の、伝導度の高い金属の薄い細片から構成されており、シールドの内部での渦電流発生を防ぐか、または減らす効果がある。各細片の少なくとも一端は、冷却装置と熱的に結合しており、シールドを75K 以下、できれば50K 程度の低温に保持する。各々の細片がすべて冷却装置と熱接触していることは正しい温度管理に必要な事であるが、電氣的閉回路は作られないこと。閉回路とパルスコイルが誘導的に結合するのを避けるためである。

第二のシールドは、巻き枠に密着してこれを包み込む形で、巻き枠または、コイルと巻き枠の両方に固定される。このシールドを形成している金属細片は、約10K の温度に保たれる。巻き枠は真空容器の内部に、チタン、ケブラーまたは繊維ガラスのような、高強度・低伝導度の材料で造られた結合棒を使って固定される。

電氣的結線としては、真空容器の壁に付けられた絶縁ターミナルを通り、コイルにつながるリード線が含まれる。リード線は、真鍮のような電気伝導度の高い、熱伝導度の低い物質で造られたものがよい。

本発明について、更に詳しく説明するため、図面を添付した：

第一図は本発明の超伝導マグネットを、水平の中心線に沿って見た図である。

2 はマグネット全体。4 は非金属製の巻き枠で、厚さ約12mmの繊維ガラス製

の円筒。巻き枠4は、やはり円筒形の真空容器6の中にはめ込まれている。真空容器6の内径部分は、渦電流の発生を防ぐために、繊維ガラスまたは極めて薄いステンレス鋼でつくる。真空容器の外壁は、アルミニウムまたはステンレス鋼でつくる。巻き枠4の上に、10~12Kの温度領域で超伝導になる物質を巻き、コイル8をつくる。

コイル8は、NbSnの様な、金属間化合物導体でつくられる。NbSn線は、普通「緑色状態物質」と呼ばれるものからつくられるが、これはNbのフィラメントを銅と錫の合金の青銅線のなかに入れて引いたものまたは銅線のなかに入れて錫のフィラメント共に引いたもので構成されている。この状態では線は可塑性である。線の長さの方向に何千本ものNbフィラメントが走っているが、すべてが銅に包まれた錫フィラメントで囲まれている。この線を真空中又は不活性ガスの中で約700℃に加熱すると、錫とNbが近付いてNbSnをつくる。この反応はゆっくり10~200時間かけて進められる。

一般にコイルは"wind and react method"で造られる。つまり、線を巻いてコイルを形成した後で、上記の加熱をすると、導体のNbSnのフィラメントが出来上がる。しかし、NbSnは脆いので、加熱後の手直しは出来ない。

上記とは対照的に、本発明のコイル8は、すでに反応の終わった状態のNbSn超伝導線を使って形成される。従って、反応後のコイルに残る不均一な熱歪みの問題が無く、非常に精度の良いコイルの形成が可能である。「緑色状態物質」から導体のNbSnを造る反応を最後まで進めずに、それぞれのNbSnフィラメントの中心付近に、未反応のNbが残っている状態の材料を使うと、直径300mmまたはそれ以上のコイルがたやすく造ることを発見した。

コイル8は、他の超伝導体、例えばセラミック酸化銅超伝導体等、いわゆる「高温超伝導体」と呼ばれる材料を使っても、造ることが出来るはずである。

輻射シールド10は、真空容器内の巻き枠6の回りに取りつけられる。渦電流の発生を最小にするため、シールド10は多数の、伝導度の高い金属の、薄い細片から構成されている。各細片の少なくとも一方の端は、メカニカル低温冷却装置12と熱的に接触させてあり、このためシールド10を75K以下、うまく行けば、50K付近の温度に保つことが出来る。

図にはないが、多層の毛布状の熱輻射反射用絶縁材料の層がシールド10と真空容器6の壁との間に入れてある。これは外壁から来る輻射がシールド10に吸収されるのを防ぎ、コイルを最低温に保つために必要である。

第二のシールド14は、巻き枠4と、コイル8とを包み込んでいる。このシールド14もまた、多数の、伝導度の高い金属の薄い細片から構成されているが、この場合金属細片はコイル8と巻き枠4とに接着剤で糊付けられている。第二シールド14の、金属細片それぞれの少なくとも一端は、メカニカル低温冷却装置12の第二ステージと熱的に結合させてあり、これによってシールド14は10K付近の温度に保たれる。

メカニカル低温冷却装置12は、第一図では概要的に示されているが、磁界の最も低い場所に取り付けられる。

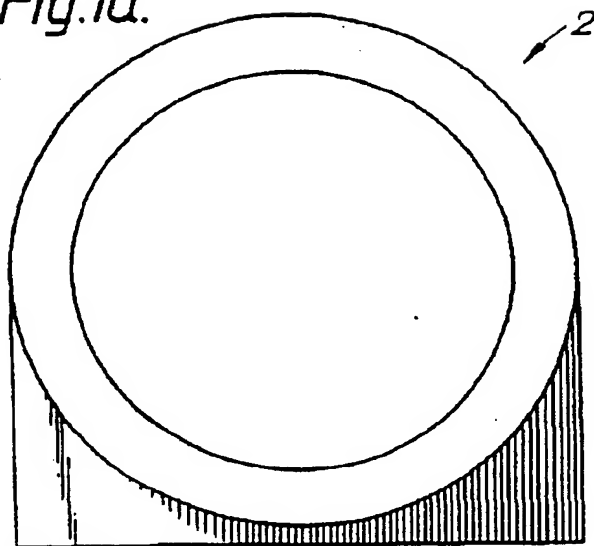
18は、結合棒のひとつを概要的に示している。結合棒はチタン、ケブラーまたは繊維ガラスのような高強度・低伝導度の材料で造られ、巻き枠4を真空容器6の中に支持するために使われる。即時使用可能な、組立の完了したマグネット2を、輸送することができるように、結合棒18は十分な強度を持たなければならない。

電流リード線は、図にはないが、真空容器6の壁に付けられた絶縁ターミナルを通り、コイル8につながる。リード線は、例えば真鍮のような、電気伝導度の高い、熱伝導度の低い物質で造るのが望ましい。リード線を造る材料の金属は、電気伝導度の温度変化があまり強くないものがよい。温度変化が強い場合は、リード線の動作を予測・制御するのが困難になる。リード線は真空容器の壁と、コイル8に永久的に固定するのが望ましい。リード線はシールドを通過する箇所と、コイルに接続する箇所で、熱接触させてある。この処置によって、コイル8は可能な限り冷却される。リード線の断面積は、その長さとコイルの材質によって決まる伝導度を考慮して、コイルに電流を流し込み磁界のエネルギーを増加させている最中の熱負荷が最も少なくなるように、最適化してある。

磁界を最高に安定化するために、マグネットを短絡する配置で、超伝導スイッチをつくる。これにより、マグネットを永久電流モードで使うことが可

【図1a】

Fig.1a.



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/GB 93/00805

International Application No

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) ⁶		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl. 5 G01R33/38; H01F7/22		
II. FIELDS SEARCHED		
Minimum Documentation Searched ⁷		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. 5	G01R ; H01F	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁸		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT⁹		
Category ¹⁰	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³
Y	WO,A,8 808 200 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 20 October 1988 see page 4, line 21 - page 5, line 33 see page 10, line 25 - page 11, line 16 see page 12, line 3 - page 13, line 6; figures 1,12,16,18	1-5,15
A	—	7-11
Y	EP,A,0 375 656 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) 27 June 1990 see column 1, line 4 - column 3, line 8	1-3,15
A	—	11-13
	—	-/--
<p>¹⁰ Special categories of cited documents : ¹⁰</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to substantiate the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"A" document member of the same patent family</p>		
IV. CERTIFICATION		
Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report	
01 JULY 1993	09. 07. 93	
International Searching Authority	Signature of Authorized Officer	
EUROPEAN PATENT OFFICE	HORAK G.I.	

PCT/GB 93/00806

International Application No

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)		
Category *	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 150 (E-606)(2997) 10 May 1988 & JP,A,62 264 605 (FUJIKURA LTD.) 17 November 1987 see abstract	4,5
A	-----	1
A	US,A,4 863 804 (G.A. WHITLOW ET AL.) 5 September 1989 see abstract see column 2, line 53 - column 3, line 55	1,3-5
A	GB,A,2 207 813 (ELSCINT LTD.) 8 February 1989 see page 6, line 1 - page 11, line 4; figures 3,4	1-3,7,8, 11,15
A	US,A,4 782 671 (B.C. BRENNAN ET AL.) 8 November 1988 see abstract see column 3, line 27 - column 5, line 16	1-3,7,8, 15
A	EP,A,0 288 835 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) 2 November 1988 see column 2, line 39 - column 4, line 14 see column 4, line 49 - column 6, line 40; figure 1	1-3,6,7, 15

ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.

GB 9300806
SA 72699

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information. 01/07/93

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-8808200	20-10-88	US-A- 4771256	13-09-88
		EP-A- 0309577	05-04-89
		JP-T- 1501211	27-04-89
		JP-B- 4017652	26-03-92
EP-A-0375656	27-06-90	JP-A- 61164277	24-07-86
		JP-A- 61236175	21-10-86
		JP-C- 1674581	26-06-92
		JP-B- 3040490	19-06-91
		JP-A- 61259581	17-11-86
		JP-A- 61259582	17-11-86
		JP-A- 62065389	24-03-87
		EP-A,B 0188389	23-07-86
US-A-4863804	05-09-89	US-A- 4655045	07-04-87
US-A-4863804	05-09-89	JP-A- 62188110	17-08-87
GB-A-2207813	08-02-89	US-A- 4853661	01-08-89
US-A-4782671	08-11-88	JP-A- 1107748	25-04-89
EP-A-0288835	02-11-88	DE-A- 3714017	17-11-88
		JP-A- 63304608	12-12-88
		US-A- 4833433	23-05-89

EPO FORM P007

For more details about this annex : see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

7135-5E

H 0 1 F 7/22

Z A A A

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)